پودمان ۵

بازرسی جوش

واحد یادگیری ۵
بازرسی جوش

آیا تاکنون پی برده‌اید

- جوش نیز می‌تواند دارای عیب باشد؟
- چه روش‌هایی برای پیش‌گیری از عیوب جوش وجود دارند؟
- برای تشخیص عیوب جوش از چه روش‌هایی استفاده می‌شود؟

استاندارد عملکرد

پس از به پایان رساندن این واحد یادگیری، هنرجویان می‌توانند عیوب جوش را شناسایی کنند، راه‌های پیش‌گیری از بعضی عیوب جوش را به طور عملی انجام دهند و پس از جوش‌کاری تست چشمی و تست مایع نافذ را انجام دهند و با روش‌های انجام دیگر تست‌های جوش آشنا شوند.

شناسایی عیوب جوش

ساختار منطقهٔ جوش

متداول‌ترین انواع جوش‌ها، جوش ذوبی است که دارای ۳ قسمت کاملاً مجزا به شرح زیر است:

۱- حوضچهٔ مذاب

۲- منطقهٔ تحت تأثیر حرارت (HAZ) یا تفتیده

۳- فلز مبنا (فلز مورد جوش‌کاری)

کار در کلاس

جدول زیر را کامل کنید.

ردیف	نام فارسی	نام انگلیسی
۱	حوضچهٔ مذاب	
۲	منطقهٔ تحت تأثیر حرارت(تفتیده)	
۳	فلز مبنا	

فلز جوش که از انجماد حوضچهٔ مذاب به دست آمده است تحت تأثیر گرما و نرخ سرد شدن، دچار تغییرات ساختاری اتمی و امتزاجی زیر می‌شود:

- تغییر خصوصیات مکانیکی
- افزایش تردی فلز جوش
- افزایش حساسیت در مقابل ترک‌خوردگی
- کاهش مقاومت در برابرخوردگی و زنگ‌زدگی

نکته

شدت این تغییرات و تأثیرات به نوع فرایند جوش‌کاری وابسته است.

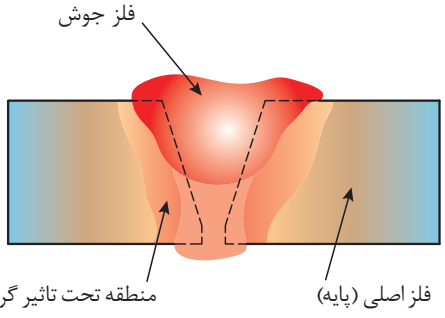
قسمت‌های مختلف منطقهٔ جوش‌شده

قسمت‌های مختلف منطقهٔ جوش‌شده مطابق (شکل ۱) عبارتند از:

۱ فلز جوش

۲ منطقهٔ تحت تأثیر حرارت-HAZ

۳ فلز اصلی (فلز پایه)



شکل ۱

فلز جوش:

فلز جوش، آلیاژی از مذاب لبه‌ها و مذاب فلز پرکننده درز خواهد بود؛ مثلاً زمانی که یک الکترود نیکلی برای جوشکاری چدن خاکستری به کار می‌رود، آلیاژ از فلز نیکل و فلز آهن و کربن خواهد بود که دارای ساختار FCC است و جذب آهن‌ربا نمی‌شود.

منطقهٔ تحت تأثیر حرارت (HAZ):

منطقهٔ کنار فلز جوش که جزء فلز پایه است و ذوب نمی‌شود، ولی در اثر گرما تغییر ساختار داده است.

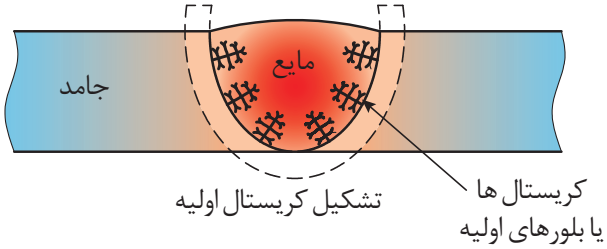
فلز پایه:

که تغییر ساختاری درآن ایجاد نمی‌شود، ولی در اثر انبساط و انقباض ناشی از حرارت، تنش در آن پدیدار شده است.

چگونگی انجماد حوضچهٔ مذاب:

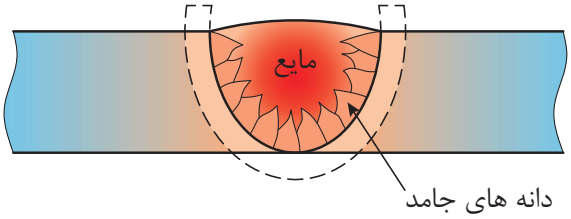
می‌دانیم اتم‌های فلزی بی‌نظم و آمورف (بی‌شکل) هستند، ولی در اثر سرد شدن اتم‌ها با نظم خاص و تکرارشونده منجمد می‌شوند؛ یعنی ساختار کریستالی دارند.

انجماد با ایجاد هسته‌های کوچک جامدی شروع می‌شود (که به این عمل جوانه‌زنی می‌گویند). به (شکل ۲) توجه کنید که در یک حوضچهٔ مذاب، بلورهای جامد چگونه و از چه منطقه‌ای شکل گرفته‌اند (جوانه‌ها از جامد ایجاد می‌شوند و رشد می‌کنند).



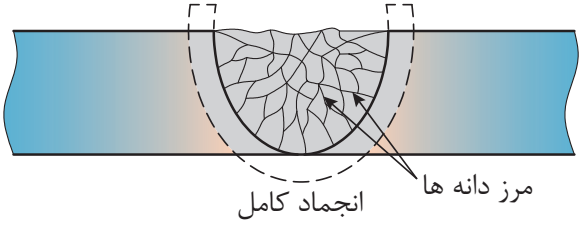
شکل ۲

پس از شکل‌گیری هسته‌های اولیه جامد، اتم‌های دیگری به هسته اضافه می‌شوند و رشد می‌کنند و بزرگ می‌شوند تا به ذرات جامد بزرگ‌تر تبدیل شوند که دانه یا بلور (کریستال) نامیده می‌شود(شکل۳).



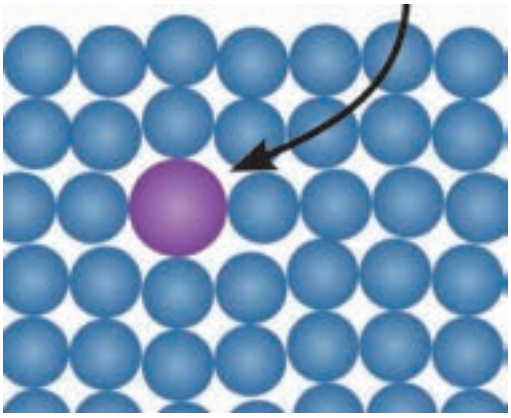
شکل ۳

با پیشرفت جامد بلورها یا دانه به هم می‌رسند و مرز نامنظمی درست می‌کنند که به آن مرز دانه گویند که با میکروسکوپ قابل رؤیت هستند در شکل ۴ انجماد کامل را ملاحظه کنید.

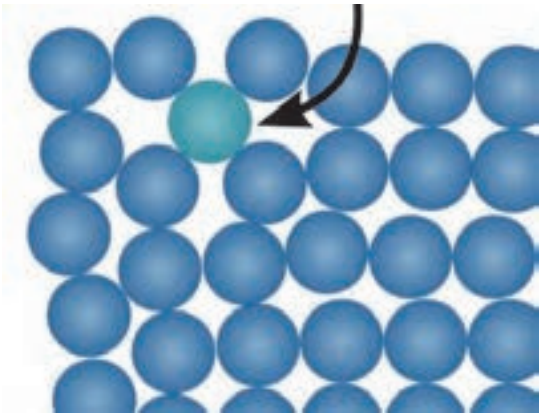


شکل ۴

در مرکز فلز جوش به دلیل سرعت بالای انجماد، دانه‌ها رشد کمتری دارند و دانه‌های ریزتر می‌گیرند.
وقتی عنصری به یک فلز خالص اضافه شود و آلیاژی تشکیل دهند، اتم عنصر جدید به دو صورت جانشینی مستقیم و بین‌نشینی در شبکه قرار می‌گیرد.



شکل۵



شکل ۶

تحقیق کنید

درباره جانشینی مستقیم و بین‌نشینی در فلزات تحقیق کنید.

چگونگی سخت شدن فولاد با عملیات حرارتی:

فولاد ساده کربنی آلیاژی است از آهن و کربن که افزایش درصد کربن به استحکام و سختی فولاد می‌افزاید و عملیات حرارتی هم می‌تواند فولاد را سخت کند.
هم اکنون کربن در فولاد به دو صورت وجود دارد:
الف) کربن در فولاد به صورت اتمی و بین‌نشین که کمتر به این حالت یافت می‌شود.

ب) ترکیب کربن با آهن، به نام کاربید آهن که در درجهٔ حرارت محیط در فولاد به صورت Fe_3C وجود دارد و مقدار آن به درصد کربن در فولاد بستگی دارد.

حرارت دادن فولاد در دمای بیش از 723° باعث می‌شود که کاربید آهن Fe_3C تجزیه گردد و به کربن و اتم آهن تبدیل شود.

$$Fe_3C \rightarrow 3Fe + C$$

در شرایط فوق وقتی فولاد، گرم می‌شود، از شبکه BCC به FCC هم تغییر شبکه می‌دهد.

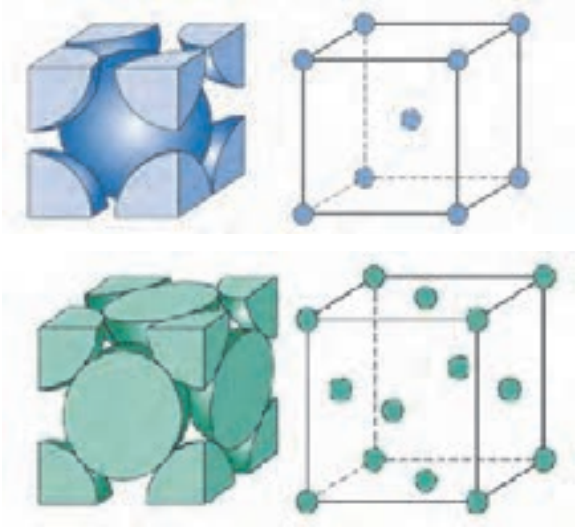
پس دو اتفاق با هم افتاده است، هم اتم‌های کربن آزاد شده‌اند و هم شبکهٔ اتمی FCC تشکیل شده است که به دلیل حجم بزرگتر فضای خالی این شبکه می‌تواند مقدار بیشتری اتم کربن به صورت بین‌نشین در بین‌اتم های خود جای دهد.

حال برای سرد کردن دو حالت در نظر می‌گیریم:

الف) سردکاری آرام (تعادلی)

ب) سردکاری تند (سریع)

اگر فولاد گرمادیده و سرخ‌شده را (به وسیلهٔ آب یا هوای فشرده) سریع سرد می‌کنیم اتم‌های کربن بین‌نشین در شبکهٔ FCC فرصت پیدا نمی‌کنند تغییر وضعیت دهند و به کاربید آهن Fe_3C تبدیل شوند؛ در حالی که تبدیل شبکه از FCC به BCC الزامی و حتمی است. سرعت سرد شدن باعث می‌شود مقدار زیادی اتم کربن به صورت فشرده درون شبکه BCC باقی بماند و شبکه به شکل مکعب مستطیل می‌شود؛ لذا سختی زیاد می‌شود و فولاد حاصل شده شکننده‌تر است. شکل ۷ شبکهٔ BCC و FCC را نشان می‌دهد.



شبکه BCC

شبکه FCC

شکل ۷

بر عکس، اگر فولاد گرمادیده و سرخ‌شده آرام سرد شود، سخت و شکننده نمی‌شود، زیرا زمان لازم برای تشکیل مجدد Fe_3C وجود دارد.

حرارت حاصل از جوش‌کاری می‌تواند تغییرات فوق را در منطقهٔ ذوب و HAZ ایجاد کند. به علاوه گرما جوش‌کاری باعث انبساط و انقباض می‌شود و تنش‌های زیادی تولید می‌کند که این عوامل باید تحت کنترل باشد تا جوش با کیفیت مطلوب به دست آید.

تحقیق کنید

درباره شبکهٔ کریستالی FCC وBCC تحقیق کنید.

اشکالات و عیوب جوش

اجرای عملیات جوش‌کاری با کیفیت صددرصد و ایده‌آل و ایجاد یک اتصال بدون عیب به ندرت ممکن است. و به طور معمول جوش‌کاری‌ها دارای معایب و ناپیوستگی‌هایی هر چند کوچک هستند. ناپیوستگی‌هایی که مورد پذیرش استاندارد مرجع قرار گیرد، عیب محسوب نمی‌شود.

استانداردها با در نظر گرفتن مؤلفه‌هایی مثل کیفیت، قابل اعتماد بودن از نظر تأمین نیازهای طراحی همراه با صرفهٔ اقتصادی، محدوده پذیرش عیب را در جوش برای کاربردهای مختلف مشخص کرده‌اند. ولی جوش‌کاران بدون در نظر گرفتن این ملاحظات، همواره باید خود را به اجرای جوش‌کاری بدون عیب و نقص موظف بدانند و دائماً تحت کنترل و بازرسی باشند و تشویق و ترغیب شوند .جوش‌هایی که ناپیوستگی در خارج از محدوده مجاز استاندارد داشته باشد، عیب‌دار به حساب می‌آید و بدون ملاحظات اقتصادی و سایر مسائل پروژه باید طبق دستورالعمل‌های تعمیراتی و با روش‌های اجرایی مورد تأیید، تخریب و دوباره جوش‌کاری شود.درخصوص ناپیوستگی‌ها در جوش ملاحظات زیر در قراردادها و پیمان‌های اجرای یک پروژه دیده می‌شود.

روش‌های بازدید عیب‌یابی، روش‌های بازرسی‌های مخرب (DT) و غیرمخرب (NDT) خواهد بود.

تهیه دستورالعمل تعمیر جوش‌کاری نیز براساس معیارهای پذیرفتن استاندارد مرجع و توافق قراردادی و اقتصادی در قراردادها گنجانده می‌شود.

عیوب متداول در جوش‌کاری:

۱- عیوب ظاهری جوش

۲- عیوب داخلی جوش

عیوب ظاهری جوش:

الف) عیوب ابعادی

ب) ناپیوستگی ظاهری

الف) عیوب ابعادی

۱- عیوب ابعادی در اتصال سپری (Fillet)

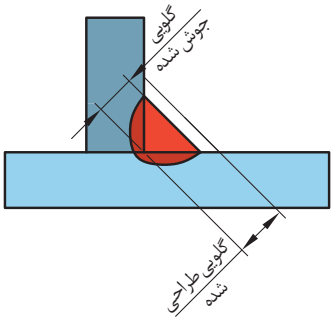
۲- عیوب ابعادی در اتصال سر به سر (Butt)

عیوب ابعادی در اتصال سپری:

ساق ناکافی (z):

در اتصالات سپری چنانچه در wps اجرایی قید نشده باشد، معمولاً میزان ساق جوش مورد نیاز $\frac{۱۰}{۷}$ ضخامت نازکترین قطعه در نظر گرفته می‌شود. چنانچه ساق جوش مورد نظر از حد مشخص‌شده کمتر باشد، عیب تلقی می‌شوند و باید ترمیم گردد(شکل ۸).

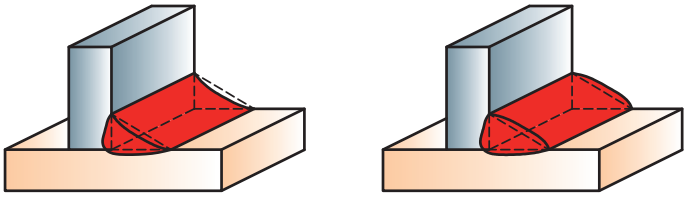
نکته مهم این است که جوش سپری (Fillet) در هر شرایطی باید دارای ساق‌هایی برابر بر روی دو بال و جان قطعه باشد؛ مگر طبق دستور طراح.



شکل ۸

گلویی ناکافی (نقعر گرده جوش):

بهترین شرایط برای جوش Fillet، داشتن سطح جوش صاف و تخت است. در این جوش چنانچه در wps اجرایی مورد خاصی قید نشده باشد، معمولاً میزان این گلویی ۰/۷ ضخامت نازکترین قطعه مورد نظر گرفته می‌شود (شکل ۹).



شکل ۹

وجود جوش گوشه با ابعاد کمتر از این حد تقعر گردهٔ جوش تلقی می‌گردد.

تحدب گرده جوش:

چنانچه ابعاد گلویی جوش Fillet از حد مورد انتظار (۰/۷t) بیشتر باشد، با ثابت ماندن ساق جوش مناسب، عیب تلقی می‌گردد، زیرا گردهٔ جوش اضافی نه تنها در استحکام جوش نقشی ایفا نمی‌کند، بلکه از آنجایی که می‌تواند زوایایی تیز در کنارهٔ جوش ایجاد کند، می‌تواند باعث ایجاد نقاط تمرکز تنش در قطعه گردد. میزان انحراف عیوب ابعادی از حد مجاز را می‌توان پس از رؤیت با استفاده از گیج‌های ویژه اندازه‌گیری و ثبت کرد.

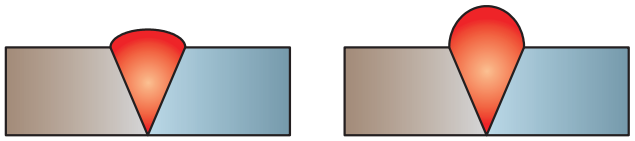
تحقیق کنید

WPS چیست و چه کاربردی در جوش‌کاری دارد.

عیوب ابعادی در جوش سر به سر (Butt):

تحدب گرده جوش(Convexity):

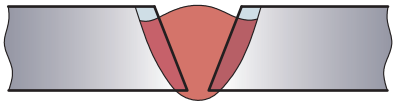
بیشترین حد برآمدگی گرده جوش برای اتصالات لب‌به‌لب (Butt) حدود سه میلی‌متر است و بیش از آن مجاز نیست و عیب تلقی می‌گردد، زیرا باعث ایجاد نقاط تمرکز تنش در اتصال می‌گردد(شکل ۱۰).



شکل ۱۰

تقعر گردهٔ جوش (عدم پرشدگی)(Concavity):

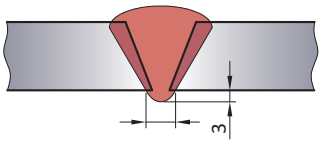
حداقل میزان پرشدگی در جوش‌های Butt باید در حد ضخامت قطعه باشد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱

تحدب ریشه جوش(نفوذ اضافی)(Excess Penetration):

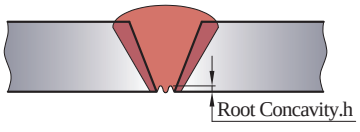
حداکثر میزان بیرون‌زدگی نفوذ جوش از پشت قطعه ۳میلی‌متر است بیرون‌زدگی بیش از این حد مجاز نیست و به عنوان عیب نفوذ اضافی تلقی می‌گردد (شکل ۱۲).



شکل ۱۲

تقعر ریشهٔ جوش(Root Concavity):

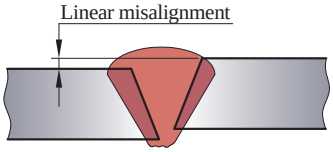
نفوذ جوش باید به انتهای لبهٔ قطعه در پشت کار برسد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳

نا هم‌ترازی(Liner Misalignment)(Mismatch):

اگر در این اتصال Butt دو جزء اتصال در یک راستا نباشند، این عیب ایجاد می‌گردد(شکل۱۴).



شکل ۱۴

شکل ۱۵ - وسیله‌ای برای تشخیص نا هم‌ترازی(HI-LO GAUGE)

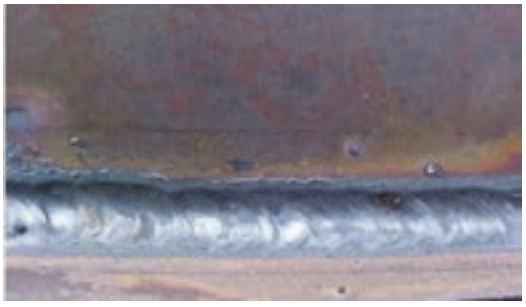
کار عملی

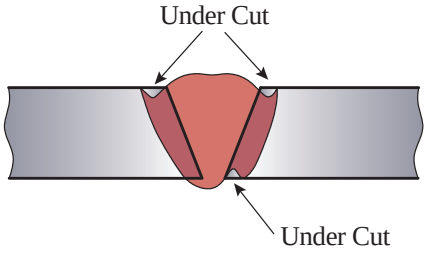
قطعهٔ کاری را که جوش شیاری (سر به سر) داده اید، بررسی کنید. چه عیوب ابعادی در آن قابل مشاهده است.

ب- ناپیوستگی ظاهری:

کناره (Under Cut):

پر نشدن حوضچهٔ مذاب در کناره‌های جوش و همچنین خوردگی کنارهٔ جوش روی قطعات اتصال را کنارهٔ جوش می‌گویند (شکل ۱۶).





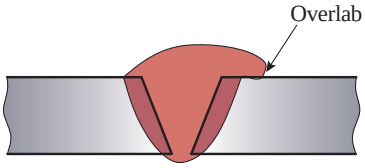
شکل ۱۶

بحث کلاسی

برای رفع عیب کناره چه کاری باید انجام داد؟

سررفتگی جوش (Over Lap):

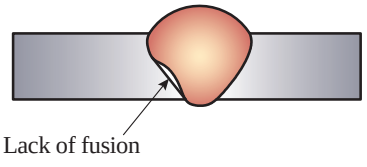
این عیب، پرشدگی بیش از اندازهٔ مجاز است و زمانی اتفاق می‌افتد که فلز جوش رسوب داده شده بیشتر از ظرفیت اتصال باشد و فلز پرکننده بدون ذوب کردن قطعه آن را بپوشاند (شکل ۱۷).

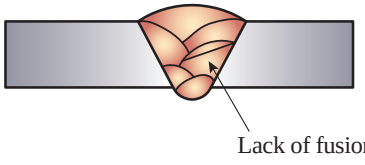


شکل ۱۷

ذوب ناقص Lack of Fusion (Lof):

حوضچهٔ مذاب در هر مرحله باید با دیوارهٔ قطعات مورد اتصال و جوش پاس‌های قبلی به طور کامل اقدام گردد؛ در غیر این صورت، باعث ایجاد عیبی به اسم ذوب ناقص (LOF) می‌گردد. این عیب گاهی ممکن است در سطوح زیرین قطعه اتفاق بیفتد و قابل مشاهده نباشد (شکل ۱۸).





شکل ۱۸

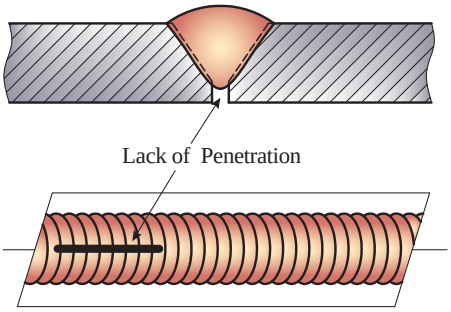
نفوذ ناقص Lack of Penetration (Lop):

این عیب در صورتی جزء عیوب ظاهری تلقی می‌گردد که به دو طرف قطعه دسترسی باشد؛ در غیر این صورت، این عیب جزء عیوب داخلی در نظر گرفته می‌شود.

جوش ذوبی درصورتی نفوذ کامل است که دو لبهٔ اتصال از سطح بالا (ظاهری) تا سطح پایینی به طور کامل ذوب شود و در هم آمیزد. این عیب در دو حالت بررسی می‌شود.

الف: نفوذ ناقص در اتصالات شیاریک‌طرفه:

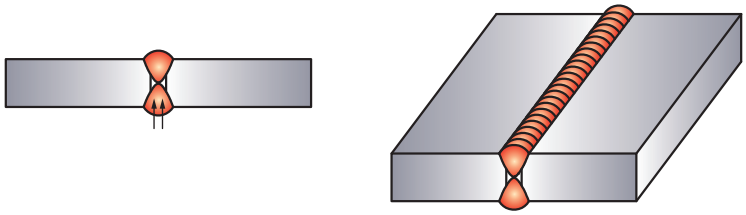
جوش ذوبی باید در پشت قطعهٔ اتصال یا هم‌سطح در قطعه باشد (در استفاده از پشت‌بند) و یا از پشت کار بیرون بزند (نهایتاً به اندازه ۳میلی‌متر) و در غیر این صورت نفوذ ناقص است (شکل ۱۹).



شکل ۱۹

ب) نفوذ ناقص در اتصالات شیاری دوطرفه:

در این‌گونه اتصالات پاشنهٔ کار و ریشهٔ اتصال در مرکز ضخامت قطعه واقع می‌گردد که باید توسط جوش ذوبی به طور کامل ذوب و پر گردد. اگر این شرایط ایجاد نشود، عیب در نظر گرفته می‌شود(شکل ۲۰).



شکل ۲۰

لکهٔ قوس (Stray Arcing):

در اثر برخورد نوک الکترود به اطراف درز جوش و قطعه در هنگام شروع جوش‌کاری ایجاد می‌شود (شکل ۲۱).

شکل ۲۱

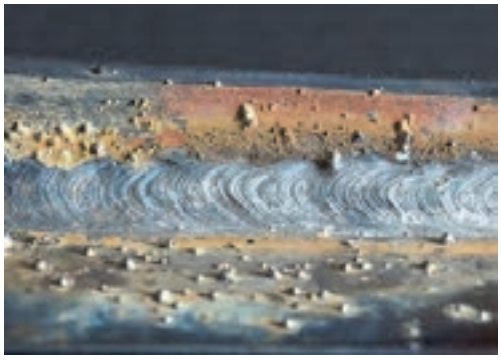
چالهٔ جوش(Black Point):

این عیب در نقاط انتهایی خط جوش دیده‌می شود که عبارت است از پر نشدن انتهای جوش و می‌تواند محل مناسبی برای بروز عیوب خطرناکی نظیر ترک باشد (شکل ۲۲).

شکل ۲۲

پاشش و جرقه (Spatter):

اگر در هنگام جوش‌کاری پارامترهای اساسی جوش رعایت نشود، جرقه و پاشش‌های ایجادشده از حد طبیعی بزرگتر می‌شود؛ که در نتیجه به سطح قطعه و جوش می‌چسبد و بر روی کار باقی می ماند. این نقاط می‌توانند محل مناسبی برای جوانه‌زنی ترک‌ها و شکست قطعه باشند (شکل۲۳).



شکل ۲۳

کار عملی

قطعهٔ کاری را که جوش شیاری (سر به سر) و سپری داده‌اید، بررسی کنید. چه عیوب ناپیوستگی ظاهری در آنها قابل مشاهده است.

عیوب داخلی جوش

تخلخل(Porosity):

این عیب در اثر حبس شدن گاز در داخل جوش ایجاد می‌شود. بنابراین هر عاملی که باعث ایجاد گاز شود، از قبیل چربی و رطوبت، می‌تواند عامل ایجاد این عیب باشد. همچنین اگر شرایطی پیش بیاید که گازهای ایجادشده در داخل جوش فرصت خروج را پیدا نکنند، باز هم باعث ایجاد این عیب می‌گردند. این عیب می‌تواند در مدل‌های مختلفی مشاهده شود که عبارت است از :

۱-تخلخل با پخش یکنو اخت:

در این حالت حباب‌های گاز در تمام طول جوش وجود دارند که ناشی از موادمصرفی کثیف و ناسالم است(شکل۲۴).

۲-تخلخل خوشه‌ای:

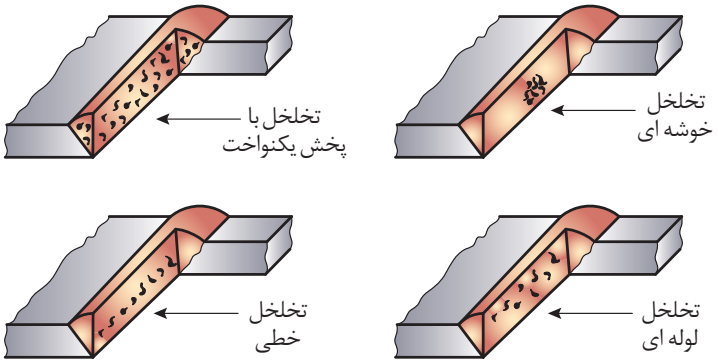
در این حالت حباب‌های گازی در نقاطی از خط جوش تجمع یافته‌اند که معمولاً ناشی از قطع و وصل شدن جریان جوش‌کاری در حین کار است. این وضعیت باعث می‌شود حوضچه مذاب سریع سرد شود و حباب‌های ایجادشده فرصت خروج پیدا نکنند (شکل۲۴).

۳-تخلخل خطی:

این حالت ناشی از ایجاد حباب‌های گازی و کشیده شدن آن در طول مسیر جوش‌کاری است (شکل۲۴).

۴-تخلخل لوله‌ای:

این عیب ناشی از حرکت همزمان حباب به سمت قطعه و انجماد حوضچه است (شکل۲۴).



شکل ۲۴

فکر کنید

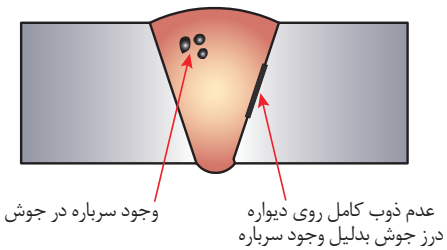
به نظر شما برای جلوگیری از ایجاد تخلخل در جوش چه کاری باید انجام داد؟

آخال(Slag Inclusion):

هرگاه در داخل جوش ذرات جامدی باقی بماند، این عیب ایجاد می‌شود. عموماً آخال‌های جوشی به یکی از دو صورت زیر است:

۱- آخال سرباره:

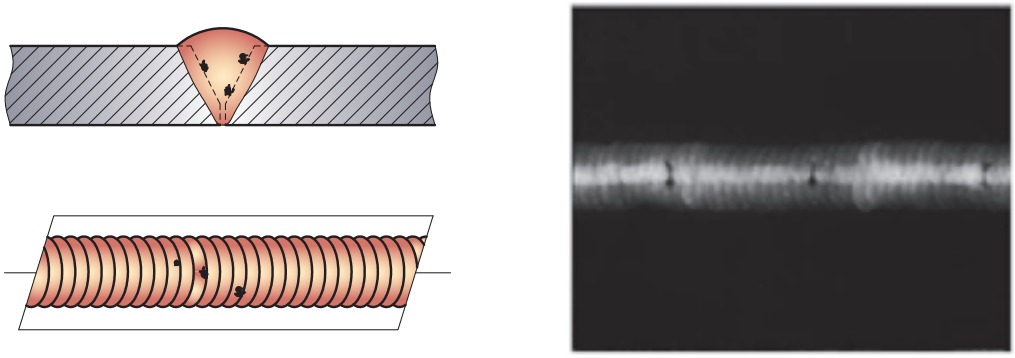
ناشی از جا ماندن سربارهٔ جوش قبلی است که در جوش‌های الکترود دستی و زیرپودری می‌تواند رخ دهد(شکل ۲۵).



شکل ۲۵

۲- آخال تنگستنی:

این عیب در جوش‌کاری TIG ای رخ می‌دهد و ناشی از برخورد الکترود تنگستنی به حوضچهٔ مذاب در حین جوش‌کاری است (شکل ۲۶).



شکل ۲۶

فکر کنید

به نظر شما برای جلوگیری از ایجاد آخال سرباره در جوش چه کاری باید انجام داد؟

ترک (Crack)

این عیب انواع گوناگونی دارد و معمولاً جزء خطرناکترین عیوب موجود در جوش و قطعه به حساب می‌آید که در زیر به آنها اشاره می‌گردد.

ترک‌ها بر حسب محل وقوع و دمای ایجاد به صورت‌های مختلفی دسته‌بندی می‌شوند.

انواع ترک از نظر محل بروز عیب:

۱- ترک ستاره‌ای: محل بروز این ترک در چالهٔ انتهایی جوش است (شکل ۲۷- الف).

۲- ترک عرضی: در جهتی عمود بر جهت جوش رخ می‌دهد و می‌تواند در قطعه و یا جوش واقع گردد (شکل ۲۷- الف).

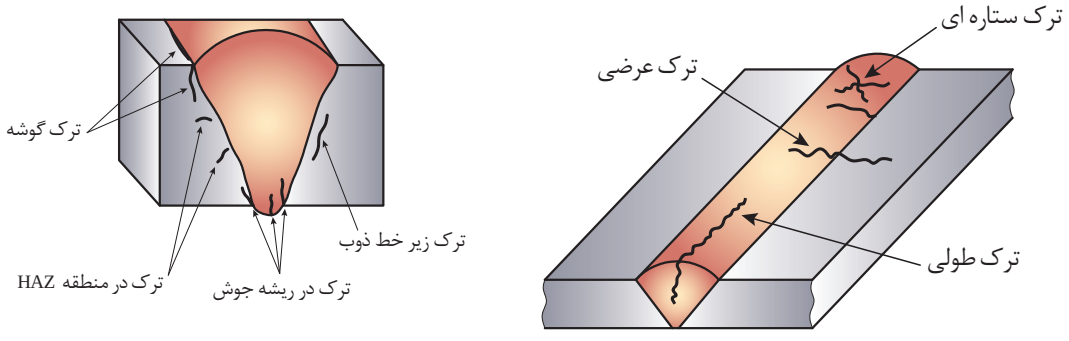
۳- ترک طولی: این ترک در امتداد طولی جوش رخ می‌دهد (شکل ۲۷- الف).

۴- ترک زبانه (گوشه) (شکل ۲۷- ب)

۵- ترک زیر خط ذوب (شکل ۲۷- ب)

۶- ترک در منطقهٔ HAZ (شکل ۲۷- ب)

۷- ترک در ریشهٔ جوش (شکل ۲۷- ب)



الف ب

شکل ۲۷

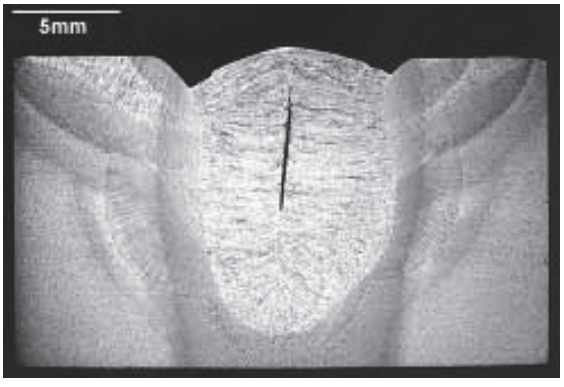
تحقیق کنید

دربارهٔ دلیل ایجاد ترک در جوش تحقیق کنید.

انواع ترک از نظر دما:

۱-ترک گرم (سرخ‌شکنی):

این ترک در شروع انجماد و تشکیل دانه‌ها اتفاق می‌افتد؛ زمانی که دانه‌های فلزی شکل می‌گیرند و استحکام به وجود می‌آید. تنش‌های انقباضی باعث شکست می‌شود که دلیل آن وجود ذوب در مرز دانه‌هاست که مربوط به ترکیبات و آلیاژهای زود ذوب در قطعه است. این ترک به سرخ‌شکنی معروف است و میل به ادامه ندارد ترک سرخ‌شکنی در فولاد خوش‌تراش که دارای گوگرد است، در آلیاژ آلومینیوم با سیلیس و در جوش‌هایی با عرض زیاد بیشتر به وقوع می‌پیوندد (شکل۲۸).



شکل ۲۸- ترک گرم

۲- شکست سرد:

این ترک در درجهٔ حرارت‌های پایین و زیر خط انجماد اتفاق می‌افتد و از دانه‌های فلزی جوش و ناحیه HAZ هم عبور می‌کند و میل به ادامه دارد و در اثنای سرد شدن جوش و یا چند روز و یا چند هفته پس از جوش‌کاری اتفاق می‌افتد. همراه شدن تردی در فلز جوش و منطقهٔ HAZ و تجاوز تنش‌های کششی از حد تنش شکست قطعه موجب شکست سرد می‌شود (شکل۲۹).

شکل ۲۹- شکست سرد

این ترک معمولاً در اثر جمع شدن سه عامل زیر اتفاق می‌افتد:

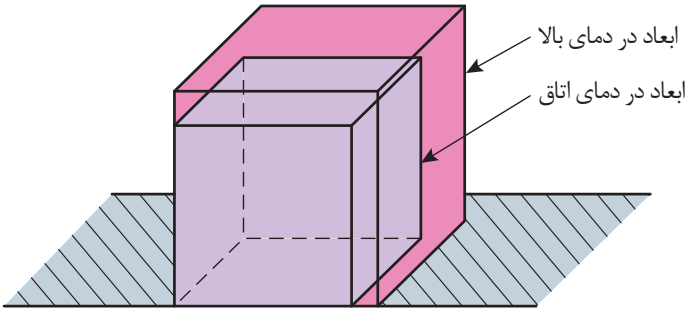
۱ ترد و سخت شدن منطقهٔ جوش

۲ افزایش تنش‌های پسماند حرارتی

۳ حفره‌های گازی و هیدروژن تردی

پیچیدگی و دلایل آن در اتصالات جوش‌کاری شده

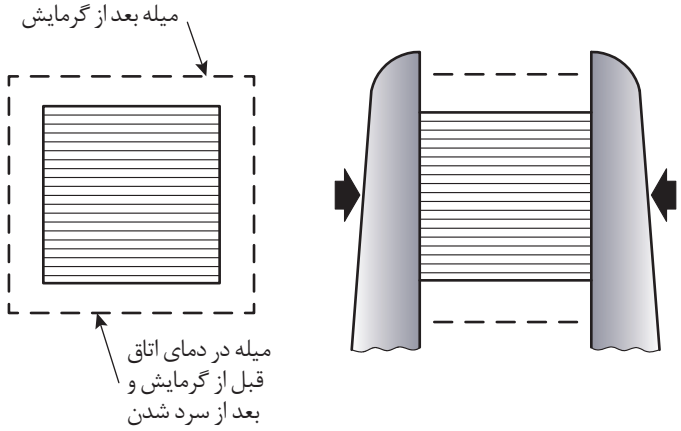
اگر یک مکعب فلزی را به صورت یکنواخت تا نزدیکی دمای ذوب گرم کنیم، مشاهده می‌شود که مکعب گرمادیده دارای ابعاد بزرگتری است و پس از سرد شدن به ابعاد اولیه باز می‌گردد (شکل ۳۰).



شکل ۳۰

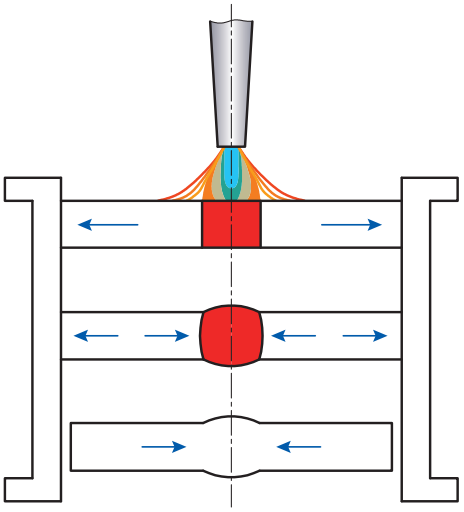
حال اگر میلهٔ استوانه‌ای را بین فک‌های ثابت قرار دهیم، به نحوی که اندازهٔ میله درست به اندازهٔ فاصلهٔ فک‌ها از هم باشد و نیرویی از طرف فک‌ها به میله وارد نشود (تنش در میله نباشد) (شکل۳۱)، سپس میله را حرارت دهیم تا گرم شود (مثلاً ۲۰۰ سانتی‌گراد)، میله انبساط پیدا می‌کند و به فک‌ها فشار می‌آورد و چون فک‌ها

ثابت هستند، در میلهٔ تنش فشاری ایجاد می‌شود. حالا اجازه می‌دهیم میله سرد شود و به درجهٔ حرارت اتاق برسد. میله منقبض می‌شود و تنش در قطعه حذف می‌گردد و دیگر به فک‌ها فشار وارد نمی‌شود.



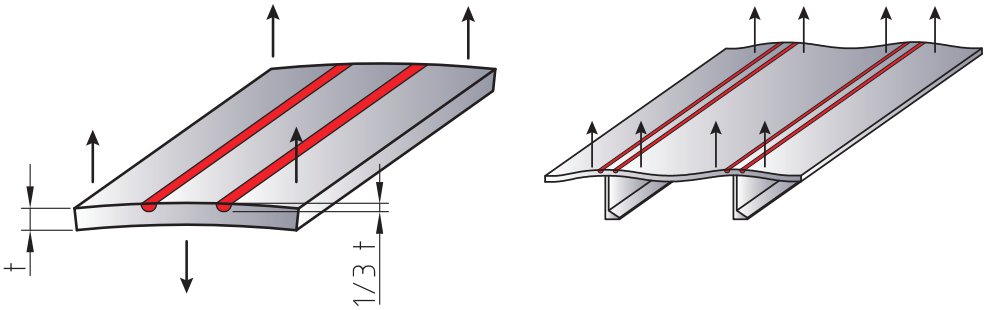
شکل ۳۱

بار دیگر تا ۴۰۰ سانتی‌گراد حرارت می‌دهیم که باعث افزایش تنش می‌شود، ولی هنوز قطعه در حالت ارتجاعی یا الاستیکی است، اما این بار مقدار تنش از دفعه قبل بیشتر است. البته پس از سرد شدن میله باز هم تنش حذف می‌شود و میله اندازهٔ اولیه خود را خواهد داشت. دفعهٔ سوم تا ۹۰۰ سانتی‌گراد حرارت می‌دهیم. ابتدا میله گرم می‌شود و تنش ایجاد می‌شود، سپس افزایش دما باعث می‌شود قطعه به حالت فرم‌پذیری (پلاستیک) درآید. انبساط حرارتی باعث چاق‌تر شدن میله و تغییر شکل آن می‌شود، ولی تنش در قطعه نمی‌ماند. حال چنانچه قطعه سرد شود، به‌دلیل انقباض میله کوتاه می‌شود و دیگر نمی‌تواند بین دو فک بماند و می‌افتد (شکل ۳۲).



شکل ۳۲

در جوش‌کاری هم همین اتفاق می‌افتد و منطقهٔ جوش خورده و گرما (فلز جوش و ناحیه HAZ) شباهت کامل به میلهٔ بین دو فک ثابت را دارد، چون قسمت‌های سرد قطعه ثابت هستند و قسمت گرم‌شده در وسط قطعهٔ کار قرار دارد و محصور است؛ لذا پس از سرد شدن منقبض می‌شود. تنش‌های انقباضی باعث پیچیدگی می‌شود؛ مطابق شکل ۳۳، یا به صورت تنش باقی‌مانده (تنش پسماند) در قطعه می‌ماند.



شکل ۳۳

کار عملی

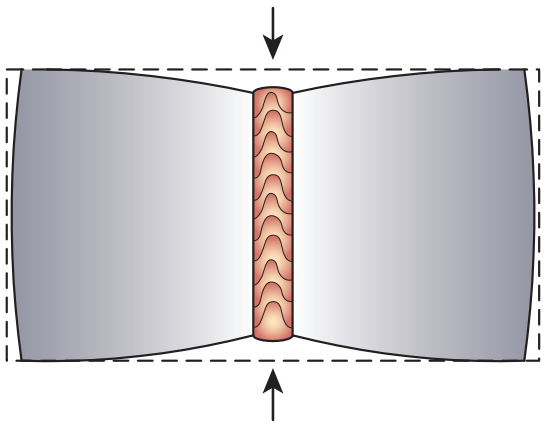
در جوش شیاری و سپری که در کار عملی بخش جوش‌کاری برق انجام داده‌اید بررسی کنید پیچیدگی وجود دارد یا نه؟ در صورت نبودِ پیچیدگی روش جلوگیری از پیچیدگی را توضیح دهید.

انواع پیچیدگی:

هنگام جوش‌کاری ممکن است در قطعه یا قطعه‌های مورد جوش‌کاری پیچیدگی اتفاق بیفتد. پیچیدگی قطعات جوش‌کاری‌شده سه نوع است:

۱- پیچیدگی طولی:

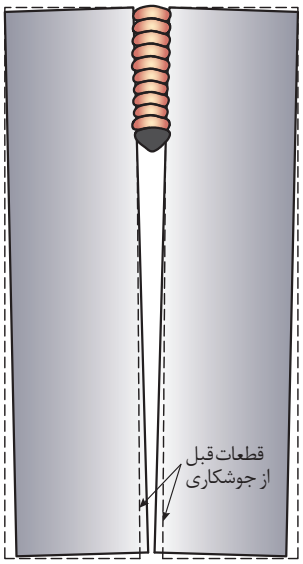
روی دیواره لبهٔ یک تسمه فولادی مطابق شکل ۳۴ جوش‌کاری شده است. تسمه آزاد و بدون مهار است و عامل خمیدگی پس از سرد شدن، انقباضی است که گردهٔ جوش برجسته روی دیواره تسمه ایجاد می‌کند و این پیچیدگی طولی است.



شکل ۳۴

۲- پیچیدگی عرضی:

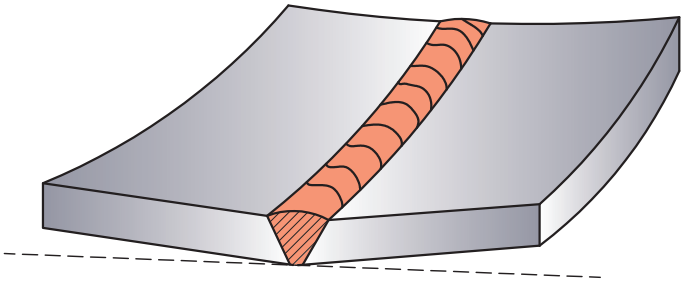
اگر دو ورق به صورت لب‌به‌لب جوش‌کاری شود، بدون این که دو سر ورق خال‌جوش شود و قید و بستی هم وجود نداشته باشد، در هنگام جوش‌کاری انتهای ورق، مطابق شکل ۳۵، به هم نزدیک می‌شود و یا روی هم سوار می‌شود که به دلیل انقباض عرضی است و به آن پیچیدگی عرضی گویند.



شکل ۳۵

۳- پیچیدگی زاویه‌ای:

در جوش‌هایی که قطعات ضخیم به هم جوش می‌خورند و زمانی که تعداد پاس‌های جوش‌کاری زیاد باشد، در اثر انقباض فلز جوش قطعات کار به طرف پخ V یا U جمع می‌شوند و یا در جوش‌کاری سه پری (سپری) پیچیدگی‌های زاویه‌ای شکل می‌گیرد(شکل۳۶).



شکل ۳۶

ارزشیابی					
ردیف	مراحل کاری	شرایط کار(ابزار، مواد، تجهیزات، مکان)	نتایج ممکن	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
۱	شناسایی عیوب جوش	مکان: کارگاه جوش‌کاری	بالاتر از سطح انتظار	۱- عیوب ظاهری جوش را بشناسد. ۲- عیوب داخلی جوش را بشناسد. ۳- پیچیدگی و دلایل به وجود آمدن آن را بداند.	۳
			در حد انتظار	۱- عیوب ظاهری جوش را بشناسد. ۲- عیوب داخلی جوش را بشناسد.	۲
			کمتر از حد انتظار	۱- عیوب ظاهری جوش را بشناسد.	۱

روش‌های پیش‌گیری از عیوب جوش

پیشگیری جدا از تعمیرات است؛ حتی اگر این روش‌ها پرهزینه و زمان گیر باشد، باز هم اقتصادی‌تر و اصولی‌تر از هزینه‌های سرسام‌آور تعمیرات جوش است که شامل عیب‌یابی، بریدن یا شکافتن جوش و جوش‌کاری مجدد آن است.

دانستن دلایل بروز عیب جوش مستلزم آگاهی از اصول کلی جوش‌کاری و فرایند اجرای آن است.

عملیات حرارتی در جوش

به منظور امکان جوش مطلوب و جلوگیری از به وجود آمدن بعضی از انواع عیوب در جوش‌کاری عملیات حرارتی صورت می‌گیرد.

پیش‌گرما (Preheating):

یعنی حرارت دادن فلز پایه قبل از جوش‌کاری که به منظور دستیابی به اهداف زیر انجام می‌شود:

به کاهش سرعت سرد شدن برای جلوگیری از تشکیل ساختار سخت در فولاد کمک می‌کند؛ یعنی فولاد پیش‌گرم می‌شود تا پس از جوش‌کاری آرام سرد شود.

رسیدن به درجهٔ حرارت حداکثر: فلزاتی که هدایت حرارت بالا دارند، مثل مس و آلومینیوم و قطعات ضخیم فولادی، تا درجه حرارت معینی پیش‌گرم می‌شوند تا فلز راحت‌تر به درجهٔ حرارت ذوب برسد.

کنترل درجهٔ حرارت بین پاسی:

بعضی از آلیاژها و فولادها و چدن‌ها اگر از درجه حرارتی بالاتر روند یا مدتی در درجهٔ حرارت بالا واقع شوند، ترکیباتی با ساختارهای سخت در دمای مختلف آنها شکل می‌گیرد؛ لذا کنترل دمای پیش‌گرما و کنترل دمای بین پاسی بسیار با اهمیت تلقی می‌شود. همچنین سرد شدن قطعه به دلیل قطع جوش‌کاری و سرد بودن

محیطی با ضخیم بودن قطعه نیز موجب سرد شدن سریع جوش می‌شود که باید همواره این مسائل گرمایی مد نظر باشد و به طور دقیق اجرا شود.

پس‌گرما (Post Heating) :

این عملیات در جوش‌کاری قطعات فولادی سختی‌پذیر و بعضی از آلیاژها اجرا می‌شود. پس‌گرما برای حذف تنش‌ها و حذف سختی و تردی و گاهی رسیدن به زیرساختار مورد نظر اجرا می‌شود. نحوهٔ این عملیات گرمایشی بسته به خواصی که از جوش انتظار داریم و همچنین با توجه به نحوهٔ سرد شدن قطعه، متفاوت خواهد بود.
در حقیقت پس‌گرما ترک‌های به وجود آمده را اصلاح نمی‌کند، ولی باعث می‌شود شکست اتفاق نیفتد کپسول‌های گاز خانگی و مخازن تحت فشار و قطعاتی که موقع بارگذاری تحت تنش‌های مختلف قرار می‌گیرند و باید حالت ارتجاعی خود را حفظ کنند، پس از عملیات جوش‌کاری تنش‌زدایی می‌شوند.
برای اجرای تنش‌زدایی بعضی محصولات صنعتی، کوره مخصوص پس‌گرما برای همان منظور طراحی و ساخته می‌شود

تحقیق کنید

در صنعت کشتی‌سازی پیش‌گرما و پس‌گرما در چه زمانی او به چه دلیلی انجام می‌شود؟

راه‌های جلوگیری از شکست گرم:

برای جلوگیری از شکست گرم در فولادها از الکترودهایی که دارای منگنز زیادی هستند، استفاده می‌کنیم تا از تشکیل سولفید آهن که یک ترکیب زودذوب است و باعث ایجاد ترک گرم می‌شود، جلوگیری کنیم. .ضمناً با استفاده از اقدامات دیگری نظیر استفاده از الکترود با قطر بالاتر و پخ مناسب و پهنای جوش کمتر و همچنین کاهش درجهٔ مهار قطعه، می‌توان جلوی ترک گرم را گرفت.

راه‌های جلوگیری از شکست سرد:

راه‌های جلوگیری از شکست سرد عبارتند از:

- تمیز بودن سطح قطعه از آلودگی‌هایی نظیر چربی
- استفاده از الکترودهای کم‌هیدروژن
- خشک کردن الکترود
- پیش‌گرم کردن قطعه به منظور کاهش سرعت سرد شدن آن، جهت کاهش میزان تنش‌های پسماند و کاهش میزان ساختارهای ترد در جوش
- عملیات تنش‌زدایی بعد از جوش‌کاری
- کنترل درجهٔ حرارت بین پاسی

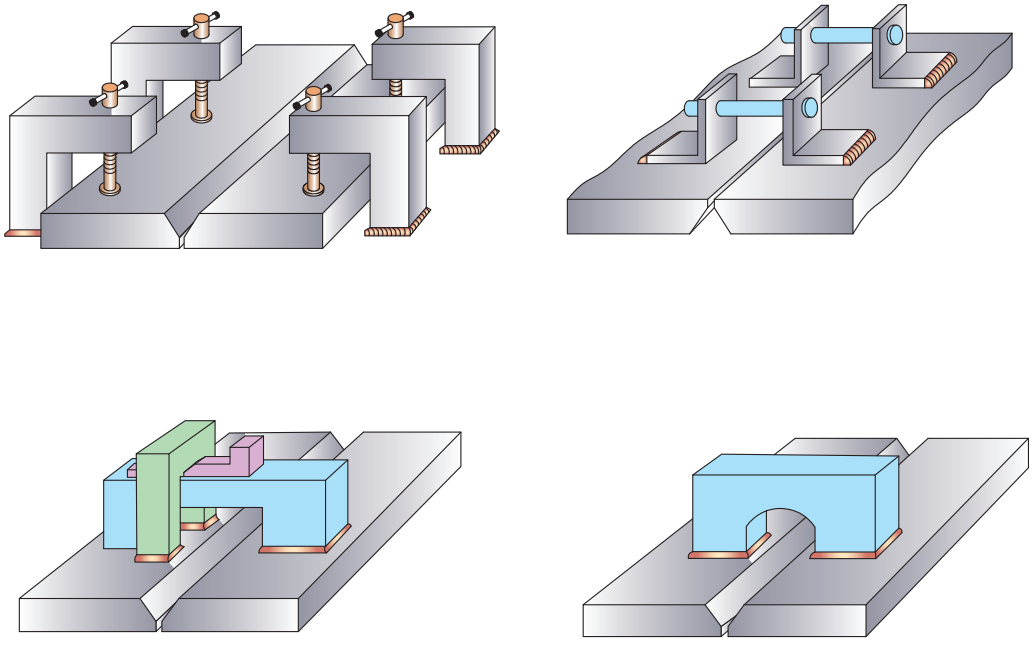
همواره باید مدنظر داشت که عیوب داخلی جوش نیز می‌تواند به سطح قطعه راه پیدا کند و قابل مشاهده شود.

روش‌های جلوگیری از پیچیدگی در جوش‌کاری

جوش‌کاران برای جلوگیری از پیچیدگی تدابیری به کار می‌گیرند و در اجرای جوش‌کاری نکاتی را رعایت می‌کنند تا پیچیدگی به وجود نیاید یا به حداقل برسد.

استفاده از مهار مناسب:

مهار کردن قطعات با استفاده از قیدها و گوه‌ها برای نگاه داشتن اتصال در موقعیت اصلی تا زمان سرد شدن جوش به کاهش پیچیدگی کمک خواهد کرد (شکل۳۷).



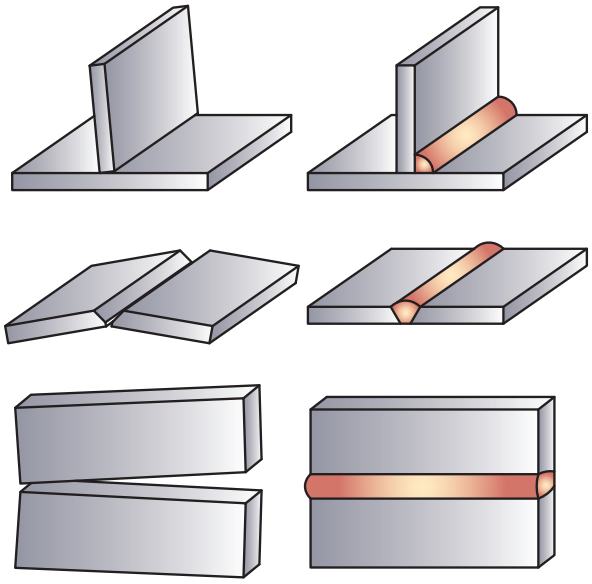
شکل ۳۷

تحقیق کنید

معمولاً مهار در جوش شیاری به چه شکل است و ضخامت آنها چقدر در نظر گرفته می‌شود؟

پیش‌تنظیمی:

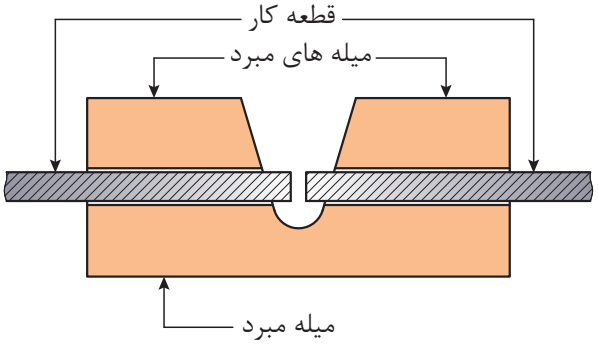
خال‌جوش زدن خارج از وضعیت اصلی در جهت عکس پیچیدگی مطابق شکل ۳۸ است. به این روش پیش‌تنظیمی گویند که پس از عملیات جوش‌کاری به حالت استاندارد درمی‌آید.



شکل ۳۸

کاهش گرمای قطعه در حین جوش‌کاری:

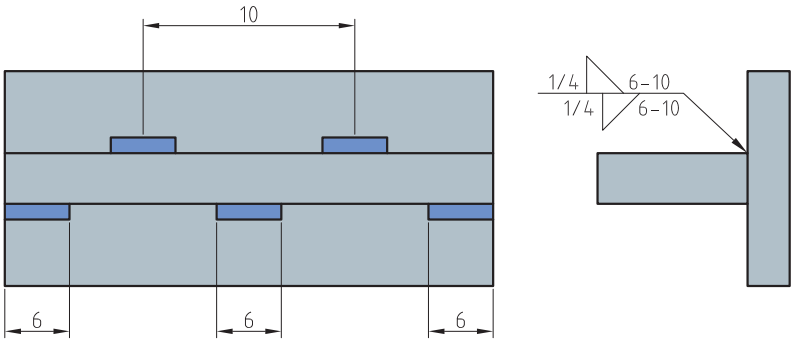
در جوش‌کاری ورق‌های فولاد زنگ‌نزن می‌توان از تسمه‌های مبرد از جنس مس استفاده کرد که در مواردی هم جریان آب در این نگه‌دارنده‌ها جریان دارد تا گرمای قطعه بالا نرود و پیچیدگی کمتر باشد. تعریف تسمهٔ مبرد: نوعی سیستم خنک‌کننده است که با گردش آب یا گازهای خنک‌کننده باعث می‌شود قطعهٔ کار خنک شود (شکل ۳۹).



شکل ۳۹

استفاده از خط جوش‌ها خلاف جهت پیچیدگی:

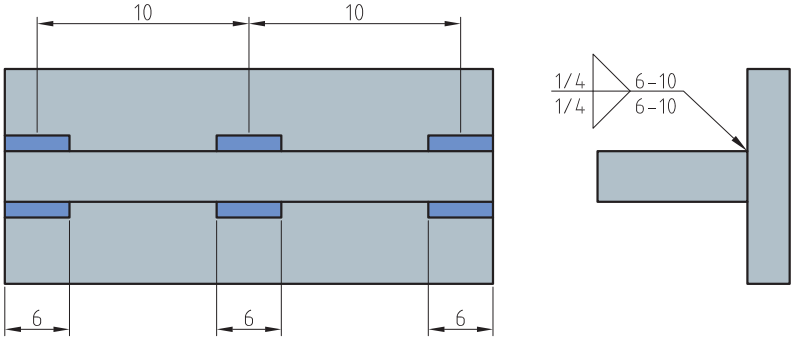
در این کار جوش یک‌طرفه به جوش دوطرفه تبدیل می‌شود. در اتصال T شکل از گردهٔ جوش مخالف جهت استفاده شده است(شکل ۴۰).



شکل ۴۰

استفاده از جوش دوطرفه:

جوش‌های منقطع نه تنها همدیگر را خنثی می‌کنند، بلکه با کاهش طول جوش، تنش پسماند کاهش می‌یابد (شکل ۴۱).



شکل ۴۱

تغییر در طراحی:

به جای‌گردهٔ جوش پیوسته و طولانی می‌توان از یک گروه جوش متقارن بهره گرفت تا تنش‌های باقی‌مانده در قطعه متعادل شوند. در روش جوش متوالی جوش‌کار طول درز را به چند قسمت تقسیم می‌کند و با یکی از دو روش زیر قطعه کار را جوش می‌دهد.

روش بازگشتی:

در این روش جوش‌کاری از چپ به راست ،ولی حرکت دست از راست به چپ است.

روش جوش پرشی بازگشتی:

در این روش جهت پیشروی جوشی از چپ به راست است، ولی گردهٔ جوش‌ها یک در میان متوالی انجام می‌شود.

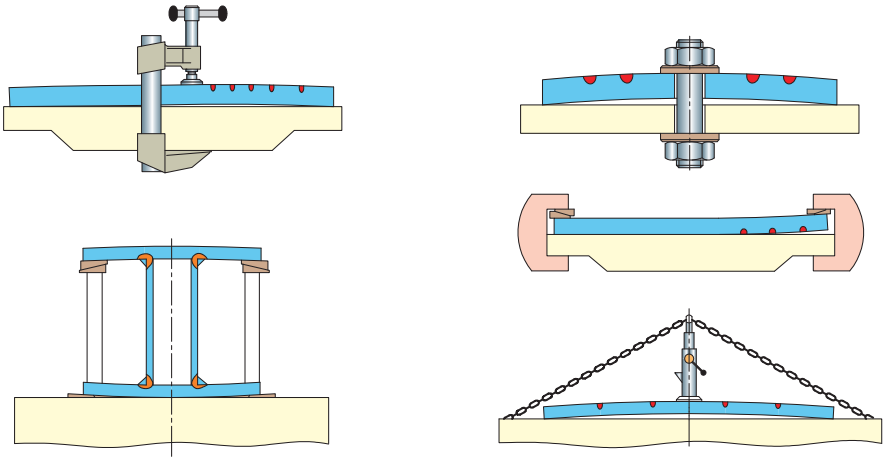
روش‌های دیگر جلوگیری از پیچیدگی عبارتند از:

- پیش‌گرما: گرما دادن فلز پایه قبل از جوشکاری باعث کاهش پیچیدگی می‌شود.
- استفاده از تعداد پاس های کمتر.
- استفاده از فاصلهٔ ریشه بیشتر و زاویهٔ پخ کمتر.
- استفاده از پشت‌بند.
- استفاده از پخ U شکل به جای پخ V شکل.

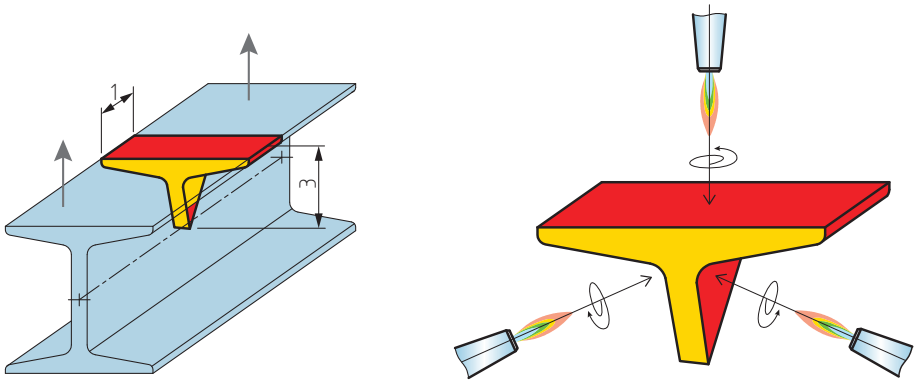
رفع پیچیدگی پس از جوش‌کاری

استفاده از پرس و چکش‌های مناسب (شکل ۴۲)

حرارت دادن موضعی (شکل ۴۳)



شکل ۴۲



شکل ۴۳

روش دیگر، با استفاده از نیروی کششی است که با حذف تنش‌های انقباضی می‌شود.

تحقیق کنید

در جوش‌کاری شیاری ورق‌های فلزی بزرگ در صنعت، در صورت ایجاد پیچیدگی زاویه‌ای، چگونه باید آن را رفع کرد؟

ارزشیابی					
ردیف	مراحل کاری	شرایط کار(ابزار، مواد، تجهیزات، مکان)	نتایج ممکن	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
۲	راه‌های پیش‌گیری از عیوب جوش	مکان: کارگاه جوش‌کاری	بالاتر از سطح انتظار	۱- روش عملیات حرارتی برای جلوگیری از عیوب جوش را انجام دهد. ۲- روش پیش‌گیری از شکست سرد جوش را انجام دهد. ۳- روش‌های پیش‌گیری از پیچیدگی را انجام دهد.	۳
			در حد انتظار	۱- روش عملیات حرارتی برای جلوگیری از عیوب جوش را انجام دهد. ۲- روش پیش‌گیری از شکست سرد جوش را انجام دهد.	۲
			کمتر از حد انتظار	۱- روش عملیات حرارتی برای جلوگیری از عیوب جوش را انجام دهد.	۱

آزمایش‌های جوش(Testing Weld)

اتصالات جوش داده شده باید خواستهٔ طراحان و مهندسان محاسب را تأمین کند و در شرایط مختلف کاری قابلیت کامل داشته باشد؛ برای این منظور، روش‌های متعددی برای بازرسی و آزمایش جوش تنظیم و استاندارد شده است که به نوع کار و حساسیت آن بستگی دارد.

استانداردها و کدهای رایج جوش‌کاری عبارتند از:

AWS D1.1 و ASME بخشIX و API STD1104برای اجرای جوش‌کاری یک دستورالعمل یا مشخصهٔ روش جوش‌کاری (WPS) برای اتصالات تنظیم می‌شود. این سند اطلاعات مفصلی راجع به شرایط جوش‌کاری (متغیرها) در کاربرد خاص را ارائه می‌کند.

سپس جوش‌کار با توجه به پارامترهایی که در (WPS) آمده است، یک اتصال مشابه را جوش‌کاری می‌کند و در صورت تأیید و دارا بودن گواهینامه با اعتبار می‌تواند به عملیات جوش‌کاری بپردازد. یعنی جوش‌کاران باید نشان دهند که می‌توانند اتصالاتی را که در این (WPS) آمده است، بدون عیب جوش‌کاری کند.

آزمایش‌های عملیات جوش‌کاری به دو دستهٔ عمده تقسیم می‌شوند:

آزمایش‌های مخرب

آزمایش‌های غیرمخرب

آزمایش‌های مخرب(DT)

این آزمایش‌ها با تخریب اتصال از طریق اعمال تنش‌های متفاوت تا مرحلهٔ تغییر فرم و شکست و بریدن اتصال به منظور بررسی فلز جوش و خواص مکانیکی آن انجام می‌شود که در موارد زیر کاربرد دارد:

ارزیابی مواد اولیه (فلز پایه و مواد مصرفی جوش‌کاری)

تعیین کیفیت طراحی در اتصال

تعیین صلاحیت جوش‌کاری

تعیین ساختارهای فلز جوش (متالوگرافی)

پاسخ‌گویی اتصال در شرایط مختلف دما، نیرو، فشار یا کشش

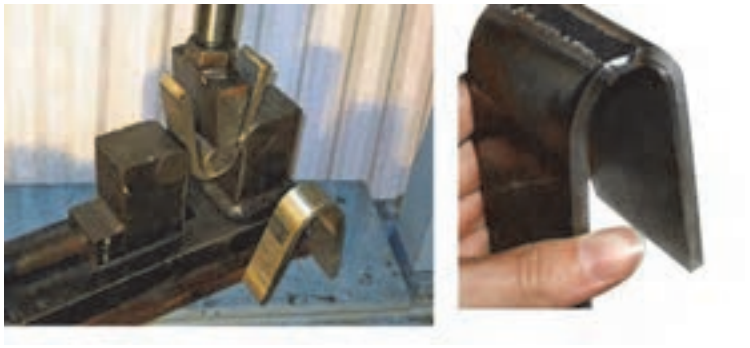
این آزمایش‌ها چون با تخریب اتصال عملی (همراه)می‌شود، به آزمایش‌های مخرب معروف هستند و به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

آزمایش کشش:

اتصالات را تحت تنش کشش قرار می‌دهند یا نمونه کششی از فلزجوش را تهیه و مطابق استاندارد مورد آزمایش قرار می‌دهند (شکل ۴۴).

شکل ۴۴

■ **آزمایش خمش:** در این آزمایش، اتصالات جوش‌کاری‌شده را در جهت ریشه، رویهٔ جوش و نیز در جهت عرضی جوش تحت خمش قرار می‌دهند(شکل۴۵).

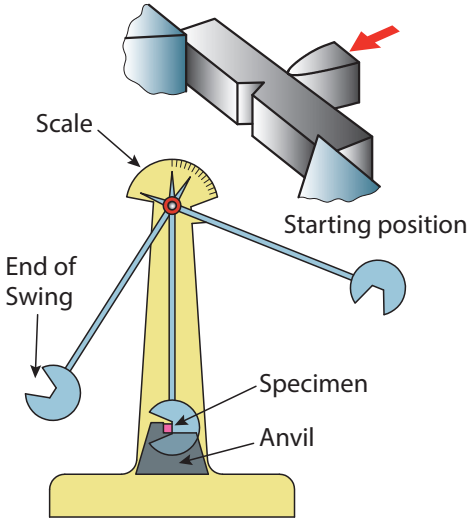


شکل ۴۵

تحقیق کنید

دربارهٔ آزمایش کشش و خمش تحقیق کنید.

■ **مقاومت در برابرضربه**: نمونه‌هایی از فلز جوش طبق ابعاد داده شده تهیه می‌کنند و تحت آزمایش ضربه، رفتار جوش را بررسی می‌کنند(شکل ۴۶).



شکل ۴۶

شکل ۴۷ - روش تهیهٔ نمونه برای آزمایش کشش و ضربه

آزمایش‌های غیرمخرب (روش‌های NDT)(Non DestraCtive Test)

در این روش‌ها اتصالات انجام‌شده در یک پروژه بدون تخریب بازرسی و کنترل قرار می‌گیرد. روش‌های NDT شامل آزمایش‌های چشمی (VT)، آزمایش‌های مایع نفوذی (PT)، آزمایش‌های مافوق صوت (UT)، آزمایش مغناطیسی (MT)، آزمایش رادیوگرافی (RT) و آزمایش نشتی (LT) است که در بخش ۶ قسمت C از کد AWS D1.1 موجود است.

آزمایش چشمی(VT):

شامل آزمایش قبل از جوش‌کاری، در حین جوش‌کاری و پس از جوش‌کاری است. مشخصات مواد مورد جوش‌کاری باید با آنالیز و اطلاعات ثبت شده در (WPS) مطابقت داده شود؛ درز اتصال از نظر ابعاد و اندازه و تلرانس مطابقت داده شود و از مواد خارجی از قبیل گریس، رنگ و اکسید باید عاری بوده و تمیز باشد. قطعات صدمه‌دیده که پیچیدگی یا خمیدگی دارند، قبل از جوش‌کاری باید تعمیر یا تعویض گردند. هم‌محور بودن قطعات باید مورد توجه باشد. عملیات حرارتی مانند خشک کردن الکترود، جریان مناسب الکتریسیته و دستگاه جوش‌کاری با قدرت لازم باید قبل از جوش‌کاری بازرسی شود.

مهمترین عملیات، بازرسی چشمی پس از جوش‌کاری است. جوش باید از لحاظ تمامی عیوب ظاهری، بررسی شود. کنترل خلل و فُرج، سرباره باقی‌مانده روی جوش، نفوذناپذیری، ترک‌های سطحی، ذوب‌شدن، بریدگی کناره، بررسی مقعر و یا محدب بودن سطح روی جوش و سطح زیر جوش از نظر یکنواختی، شکل موج‌ها، جرقه‌های جوش و اندازهٔ جوش‌ها، یکسان بودن ساق جوش‌های ماهیچه‌ای (Fillet)، طول خط جوش‌ها، میزان نفوذ در اتصالاتی که از یک طرف جوش‌کاری می‌شوند، به راحتی از ظاهر جوش توسط بازرس واقعی تشخیص داده می‌شود. از طرف دیگر با این بازرسی می‌توان در خصوص عیوب داخلی جوش هم تا حدودی اطمینان حاصل کرد.

کار عملی

از یک کارخانهٔ کشتی‌سازی یا کارگاه جوش‌کاری بازدید کنید و جوش‌کاری‌های انجام شده را بررسی کنید.

وسایل استفاده‌شده در بازرسی چشمی عبارتند از:

گپ‌سنج(Gap gauge):

برای اندازه‌گیری فاصلهٔ ریشهٔ جوش قبل از جوش‌کاری استفاده می‌شود (شکل۴۸).

شکل ۴۸

هایلو گیج (HI-LO Gauge):

برای اندازه‌گیری گرده‌های جوش از $\frac{۱}{۸}$ اینچ تا یک اینچ یعنی (۲/۳ تا ۲۵ میلی‌متر) به کار می‌رود و تحدب و تقعر جوش و ناهم‌ترازی را نیز می‌توان کنترل کرد (شکل ۴۹).

شکل ۴۹

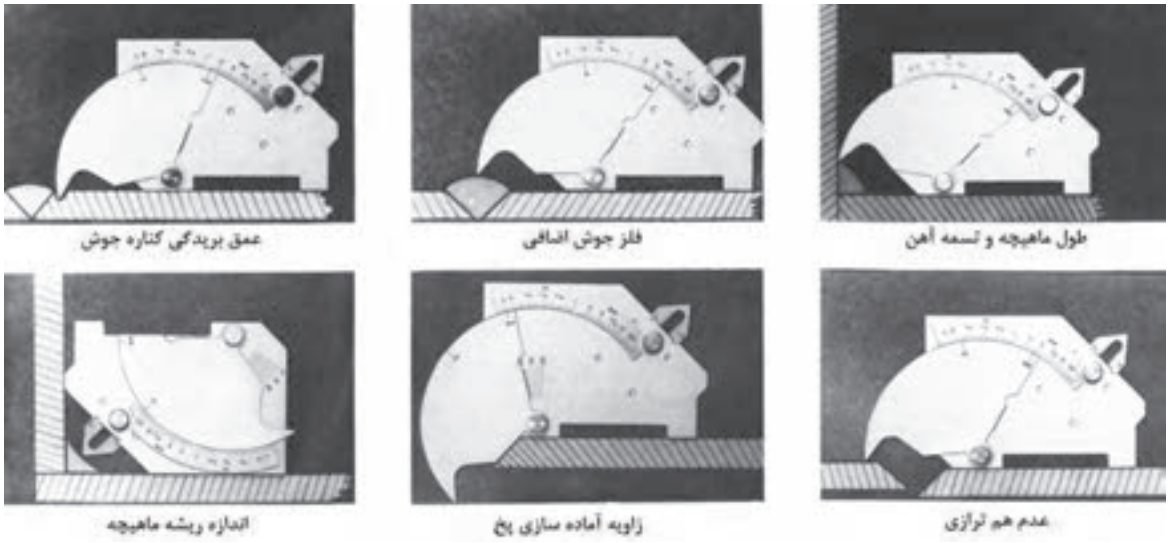
گیج چندمنظوره یا کامبریج (Cambridge):

این گیج‌ها قادر به انجام چندین اندازه‌گیری هستند؛ مانند تحدب و تقعر جوش، گردهٔ جوش و اندازهٔ ریشه که در (شکل‌های ۵۰ و ۵۱) همراه با روش‌های اندازه‌گیری آمده است.

شکل ۵۰

با این وسیله می‌توان موارد زیر را اندازه‌گیری کرد (شکل ۵۰):

۱- زاویهٔ آماده‌سازی
۲- فلز جوش اضافی
۳ -عمق بریدگی کنارهٔ جوش
۴- اندازهٔ ریشه
۵- ارتفاع گرده
۶- ناهم‌ترازی
۷- اندازهٔ گلویی جوش
۸- طول گردهٔ جوش



شکل ۵۱

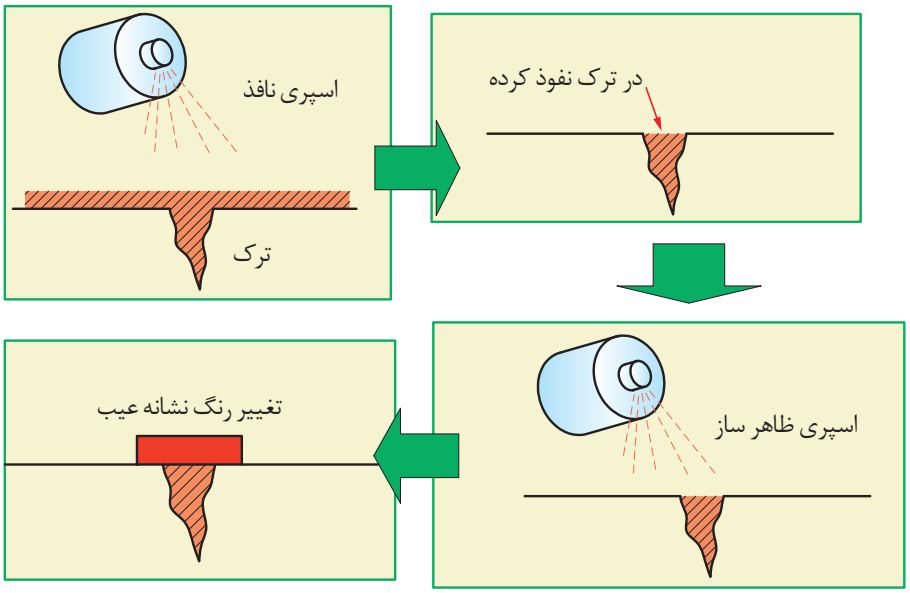
کار عملی

دو قطعه که برای جوش‌کاری شیاری لبه‌سازی شده است و دو قطعه که قبلا به‌صورت شیاری و سپری جوش داده شده‌اند، توسط ابزار بازرسی چشمی کنترل کنید؟

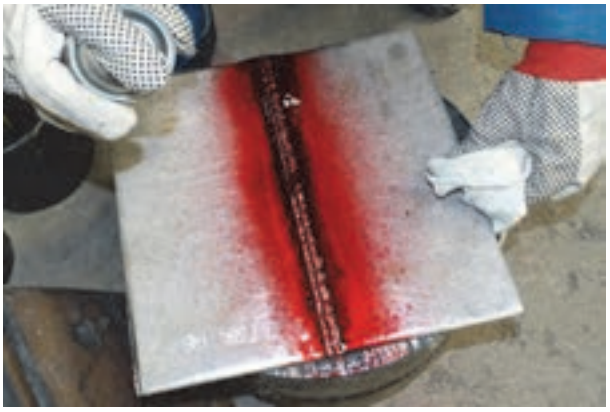
تست مایعات نفوذی (PT):

این آزمایش با نفوذ مایع با استفاده از خاصیت موئینگی در درزها و شکاف‌ها و سوراخ‌هایی که در سطح جوش ظاهر می‌شوند، عملی می‌گردد. روش کار به این صورت است که ابتدا سطح جوش کاملاً برس زده می‌شود و به اندازهٔ کافی تمیز می‌گردد و قبل از آزمایش کاملاً خشک می‌شود.

بعد از تمیزکاری سطح جوش، مایع نافذ اغلب به صورت اسپری روی کار پاشیده می‌شود (این اسپری معمولاً قرمز رنگ است). سپس مدت زمان کافی روی قطعه می‌ماند تا بتواند داخل عیب‌هایی که تا سطح جوش رسیده‌اند، نفوذ کند (اعمال مایع نافذ با استفاده از برس و یا به روش غوطه‌وری نیز می‌تواند انجام شود). سپس مایع به طور کامل از سطح کار پاک می‌شود و مایع ظهور که اغلب سفید رنگ است، روی کار پاشیده می‌شود و سپس به تحلیل نشانه‌ها پرداخته می‌شود. چنانچه عیب به سطح جوش برسد و مایع نافذ در آن جای گرفته باشد، در تماس با مایع ظهور آن محل تغییر رنگ می‌دهد و عیب مشخص می‌شود (شکل۵۲).



شکل ۵۲



شکل ۵۳ - آزمایش با ماده نافذ

آزمایش ذرات مغناطیسی(MT):

این روش با استفاده از تشکیل خطوط مغناطیسی روی سطح جوش و انحراف آن خطوط به دلیل وجود عیوب در جوش عملی می‌گردد. این روش روی فلزات مغناطیسی‌شونده عملی است. مغناطیسی کردن توسط یکیوک (آهنربای برقی) انجام می‌گیرد و برادهٔ آهن برای ایجاد خطوط مغناطیس به کار می‌رود. معمولاً در این روش ابتدا برای ایجاد زمینه دید مناسب، سطح قطعه مورد آزمایش را با اسپری سفیدرنگ می‌پوشانند و سپس قطعه را با استفاده از آهن‌ربای الکتریکی‌مغناطیسی می‌کنند. در صورت ناپیوستگی در جوش خطوط مغناطیسی که روی سطح کار قرار دار، منحرف می‌شود و باعث تجمع براده‌های آهن می‌گردد؛ از این طریق می‌توان به وجود ناپیوستگی‌ها در جوش پی برد (شکل۵۴).

شکل ۵۴

بحث کلاسی

آزمایش مایع نافذ و ذرات مغناطیسی برای تشخیص چه عیب جوشی کاربرد زیاد دارد؟

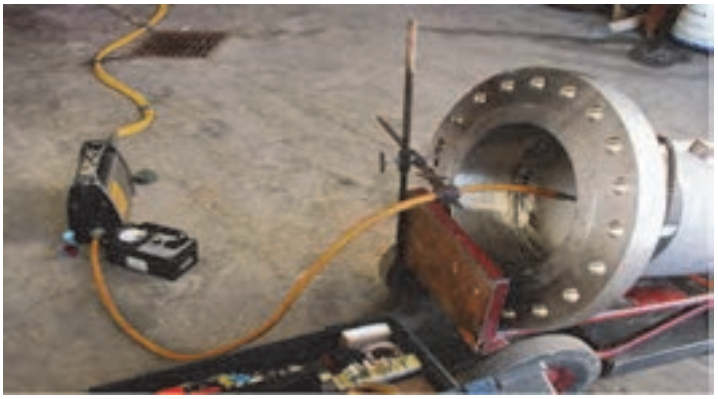
آزمایش اولتراسونیک(UT):

آزمایش فراصوتی به طور گسترده در آشکارسازی نقص‌های درونی مواد استفاده قرار می‌شود. از این روش برای ضخامت‌سنجی قطعات کشتی و مخازن هم به کار می‌رود. روش کار بدین صورت است که امواج فراصوتی که توسط مبدل‌های پیزوالکتریک تولید می‌شوند، توسط پروب‌ها (Prob) داخل قطعه هدایت می‌شوند و پس از عبور از قطعه، وارد فضای گازی نشده و برگشت می‌کنند و امتداد عبور امواج فراصوتی روی مانیتور به صورت اکو مشاهده می‌شود. از آنجایی که سرعت صوت در هر جسمی ثابت و مشخص است، با توجه به مکان اکو بر روی مانیتور دستگاه بازرسیUT و سرعت صوت در جسم مورد نظر می‌توان ضخامت قطعه را به دست آورد. حال اگر اکوی رؤیت‌شده روی صفحهٔ مانیتور دستگاه زودتر از محل مورد انتظار ظاهر گردد، نشان‌دهندهٔ وجود ناپیوستگی در داخل قطعه است. در این حالت با جابه‌جا کردن پروب بر روی قطعه می‌توان به نوع، محل و اندازهٔ عیب دست یافت (شکل۵۵).

شکل۵۵

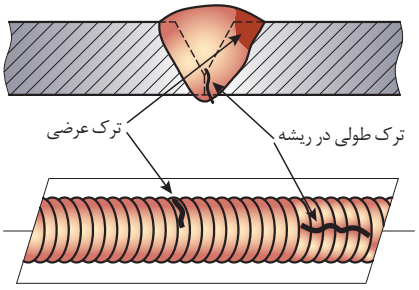
آزمایش رادیوگرافی (RT):

یکی از مفیدترین و متداول‌ترین روش‌های تعیین سلامت جوش است که در اتصالات مختلف و با ابعاد گوناگون استفاده می‌شود؛ به صورتی که آزمایش دارای فیلم قابل بایگانی است (شکل۵۶).



شکل۵۶

روش کار به این صورت است که اشعه X را از قطعه عبور می‌دهند. قسمتی از اشعه جذب و مقداری از آن در طرف دیگر از قطعه خارج می‌شود. چنانچه فیلم یا صفحهٔ حساس را در طرف دیگر مستقیماً قرار دهیم تا اشعه بر روی آن اثر کند، ضخامت‌های بیشتر باعث عبور کمتر اشعه می‌شود و صفحهٔ فیلم روشن‌تر است و نیز قسمت‌های نازک‌تر اشعه بیشتر عبور می‌کند و در نتیجه صفحهٔ فیلم تیره‌تر است؛ در خصوص عیوب هم از این خاصیت استفاده می‌شود (شکل۵۷).



شکل ۵۷

همچنین عبور اشعه از فلزات با چگالی‌های متفاوت موجب می‌شود که اشعه از فلز کمتر عبور کند و در نتیجه صفحه روشن‌تر خواهد بود. چنانچه اشعه از جوش عبور کند و جوش سالم و یکنواخت باشد، صفحه به طور یکنواخت تار می‌شود. وجود هرگونه عیب نظیر حفرهٔ گازی، سربارهٔ محبوس‌شده، ترک، عدم نفوذ و غیریکنواختی ضخامت باعث می‌شود اشعه در مواضع (محل‌ها) رقیق‌تر از قطعه کمتر جذب شود و با شدت بیشتری بر روی فیلم اثر بگذارد. به شکل ۵۸ توجه کنید. چشمهٔ پرتو ممکن است تیوپ ایکس یا دوربین رادیوگرافی گاما باشد. در این روش با قرار دادن حروف سربی روی قطعه می‌توان شمارهٔ قطعه را روی تصویر داشته باشیم (شکل۵۸).

شکل ۵۸

نکته ایمنی

در هنگام انجام آزمایش رادیوگرافی باید فاصله مناسب از دستگاه رعایت شود و از عبور و مرور افراد جلوگیری شود.

نکته زیست محیطی

در انجام این آزمایش باید توجه داشت اگر در محیط باز و یا در محیط زیست جانوران قرار دارد، به دلیل تأثیر اشعهٔ X این ازمایش در زمانی انجام گیرد که کمترین تأثیر را بر موجودات داشته باشد و تا شعاع ایمن سعی گردد از نبود جانداران اطمینان حاصل شود.

ارزشیابی					
ردیف	مراحل کاری	شرایط کار(ابزار، مواد، تجهیزات، مکان)	نتایج ممکن	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
۳	آزمایش‌های جوش	مکان: کارگاه جوش‌کاری گپ‌سنج، هایلو گیج، گیج چند منظوره، اسپری مایع نافذ، اسپری ظاهرکننده	بالاتر از سطح انتظار	۱- آزمایش چشمی را انجام دهد. ۲- آزمایش مایع نافذ را بتواند انجام دهد. ۳- آزمایش‌های اولتراسونیک، ذرات مغناطیسی و رادیوگرافی را بداند. ۴- بازرسی جوش با وسایلی مانند گیج چندمنظوره و گپ‌سنج را بتواند انجام دهد.	۳
			در حد انتظار	۱- آزمایش چشمی را انجام دهد. ۲- آزمایش مایع نافذ را بتواند انجام دهد. ۳- آزمایش‌های اولتراسونیک، ذرات مغناطیسی و رادیوگرافی را بداند.	۲
			کمتر از حد انتظار	۱- آزمایش چشمی را انجام دهد.	۱

ارزشیابی شایستگی بازرسی جوش

شرح کار:

شناسایی عیوب جوش

روش‌های جلوگیری از عیوب جوش

آزمایش‌های جوش

استاندارد عملکرد:

عیوب جوش را شناسایی کنند، راه‌های پیش‌گیری از بعضی عیوب جوش را به طور عملی انجام دهند و پس از جوش‌کاری، آزمایش چشمی و آزمایش مایع نافذ را انجام دهند و با روش انجام آزمایش‌های دیگر جوش آشنا شوند.

شاخص‌ها:

- سطح قطعه کار تمیز و بدون گرد و غبار، زنگ‌زدگی و چربی باشد

-کنترل لبه‌سازی و مهار قطعه کار قبل از جوش‌کاری و در حین جوش‌کاری با ابزار آزمایش چشمی

-کنترل جوش پس از جوش‌کاری و شناسایی عیوب جوش

-انجام آزمایش مایع نافذ

شرایط انجام کار، ابزار وتجهیزات:

شرایط: کارگاه جوش‌کاری با شرایط تهویهٔ مناسب و نور کافی.

ابزار و تجهیزات: گپ‌سنج، هایلو گیج، گیج چندمنظوره، اسپری مایع نافذ، اسپری ظاهرکننده.

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	شناسایی عیوب جوش	۲	
۲	روش‌های جلوگیری از عیوب جوش	۱	
۳	آزمایش‌های جوش	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی، و ... ۱- رعایت نکات زیست‌محیطی ۲- تمیزکاری محیط پس از انجام آزمایش مایع نافذ ۳- رعایت نکات ایمنی	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.

منابع

۱- برنامه درسی رشته مکانیک موتورهای دریایی. (۱۳۹۳). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.

۲- استاندارد شایستگی حرفه رشته مکانیک موتورهای دریایی. (۱۳۹۲). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.

۳- استاندارد ارزشیابی حرفه رشته مکانیک موتورهای دریایی. (۱۳۹۲). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.

۴- راهنمای عمل طراحی و تألیف بسته تربیت و یادگیری رشته‌های فنی و حرفه‌ای. (۱۳۹۳). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.

۵- کوکبی، امیرحسین. (۱۳۸۴). تکنولوژی جوش‌کاری. موسسسه انتشارات علمی.

۶- اسکندری، حسین و زارعی، عبدالخالد. (۱۳۹۰). مقدمه‌ای بر جوش‌کاری در صنعت کشتی‌سازی. انتشارات دانشگاه خلیج فارس.

۷- شاهدی، علی و استاد رحیمی، محمد مهدی. (۱۳۸۴). تکنولوژی و کارگاه جوش‌کاری، تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۸- شاهدی، علی و دلیخون، بهرام. (۱۳۹۵). تکنولوژی و کارگاه جوش برق. تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۹- تقی پور ارمکی، حمید؛ زارعی، بهرام؛ سلطان محمدی، محمدرضا و شادی، حمیدرضا. (۱۳۹۵). ساخت مصنوعات فلزی سبک. تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۱۰- فردی، مهدی. (۱۳۹۵). تکنولوژی و کارگاه تغییر شکل نیم‌ساخته. انتشارات سازمان فنی و حرفه‌ای، دفتر تألیف و برنامه‌ریزی درسی.

11-H.Tschaetch. (2005).” Metal Forming Practice”, Translated by: Anne Koth. Springer Berlin Heidelberg, Newyork.

12-T. Vadomphol. (2007).” Fundamentals of Metalworking”, Suranaree University of Technology, Lecture Note.

13-ABS Guide for Shipbuilding and Repair Quality standard for Hull Structures During Construction. (2007). American Bureau of Shipping.

هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران- صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵- گروه درسی مربوط و یا پیام نگار tvoccd@roshd.ir ارسال نمایند.

وب گاه: www.tvoccd.medu.ir

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی جهت ایفای نقش خطیر خود در اجرای سند تحول بنیادین در آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، مشارکت معلمان را به‌عنوان یک سیاست اجرایی مهم دنبال می‌کند. برای تحقق این امر در اقدامی نوآورانه سامانه تعاملی بر خط اعتبارسنجی کتاب‌های درسی راه‌اندازی شد تا با دریافت نظرات معلمان دربارهٔ کتاب‌های درسی نونگاشت، کتاب‌های درسی را در اولین سال چاپ، با کمترین اشکال به دانش‌آموزان و معلمان ارجمند تقدیم نماید. در انجام مطلوب این فرایند، همکاران گروه تحلیل محتوای آموزشی و پرورشی استان‌ها، گروه‌های آموزشی و دبیرخانهٔ راهبری دروس نقش سازنده‌ای را بر عهده داشتند. ضمن ارج نهادن به تلاش تمامی این همکاران، اسامی دبیران و هنرآموزانی که تلاش مضاعفی را در این زمینه داشته و با ارائهٔ نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

همکاران هنرآموز که در فرایند اعتبارسنجی این کتاب مشارکت فعال داشته‌اند.

استان سیستان و بلوچستان
آقای مصطفی یزدانی مقدم برج
استان مازندران
آقای جلال الدین آموزگار
استان هرمزگان
آقای جعفر عبدالله پور

ارگان ها و موسساتی که در فرآیند اعتبارسنجی این کتاب مشارکت داشته‌اند:

۱- اداره کل امور دریایی و سازمان‌های تخصصی بین‌المللی سازمان بنادر و دریانوردی
۲- موسسه آموزشی کشتیرانی جمهوری اسلامی ایران
۳- نیروی دریایی راهبردی ارتش جمهوری اسلامی ایران
۴- نیروی دریایی سپاه پاسداران انقلاب اسلامی ایران
۵- مرزبانی نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران
۶- دبیرخانه کشوری هنرستان‌های علوم و فنون دریایی